第40卷 第5期
2023年5月

干 旱 区 研 究
ARID ZONE RESEARCH

Vol. 40 No. 5
May 2023

农牧交错带生态与生产用地时空转换及其驱动因素分析
——以张家口坝上地区为例

秦彦杰[1,2]， 武爱彬[1,2]， 赵艳霞[1,2]， 唐守普[3]，
刘 欣[1,2]， 沈会涛[1,2]， 张胜海[1,2]

（1. 河北省科学院地理科学研究所，河北 石家庄 050011；2. 河北省地理信息开发应用技术创新中心，河北 石家庄 050011；3. 河北省国土整治中心，河北 石家庄 050011）

摘 要： 为实现农牧交错带生态用地与生产用地的协调发展，提升区域生态功能，以张家口坝上地区为例，构建土地利用转移矩阵，利用地理集中度和地理探测器模型，揭示生态用地与生产用地时空变化、转换特征和驱动因素。结果表明：（1）2000—2020年，张家口坝上地区生态用地规模增加了5.41%，表现为先增后减的变化趋势，生产用地规模减少了6.89%，表现为先减后增的变化趋势。（2）生态用地和生产用地之间相互转换频繁，生产用地向生态用地转换了21.23×10⁴ hm²，转换数量逐渐减少，自然条件较好地区（降雨量多、海拔低和坡度缓等）的生产用地开始向生态用地转换；生态用地向生产用地转换了12.47×10⁴ hm²，转换数量逐渐增加，且自然条件较恶劣地区的生态用地开始向生产用地转变。（3）土壤有机质、人均耕地面积和坡度等是影响生产用地向生态用地转换的主要因素，土壤有机质与人均耕地面积的交互作用解释力最大；土壤有机质含量低、人均耕地面积多、坡度6°～15°和年均降雨量低于400 mm的地区容易发生生产用地向生态用地转变。坡度、年均降雨量和人均耕地面积等是影响生态用地向生产用地转变的主要因素，坡度与地貌类型的交互作用解释力最大；在坡度2°～6°较缓区、年均降雨量大于400 mm、人均耕地面积少的地区容易发生生态用地向生产用地转变。研究区近年来出现生态用地向生产用地的转换应引起重视。

关键词： 生态用地；生产用地；转换；驱动；农牧交错带；张家口坝上

中国北方农牧交错带是半湿润农耕区和干旱、半干旱草原牧区的过渡地带。在气温、降水等自然条件和政策、经济发展、人口增长等人文因素的共同影响下，该区域草地、林地和耕地相互转换频繁，交互作用使地类界面不断变化，导致农牧交错带土地利用具有明显的过渡性和波动性，生态环境脆弱。当地以农牧业为主的经济发展方式对土地资源利用存在着竞争关系，要实现农牧交错带的可持续发展，应当深入研究该地带的土地利用转换规律和协调对策，合理配置农牧业用地比例，找到生态与经济双赢的措施和方法。党的十九届四中全会明确提出“促进生产空间集约高效、生活空间宜居适度、生态空间山清水秀”的指导思想，以生态、生产和生活视角出发探究区域可持续发展的研究成为众多学者所关注的热点，学者们探索了生态用地、生产用地和生活用地（简称“三生用地”）的数量、空间变化以及特征[1]，多关注“三生用地”在长时间序列内发生的变化特征，然而对农牧业用地空间转换及驱动因素的关注较少。

农牧交错带这一术语在1953—1959年由赵松乔提出并完善[2]，之后以农牧交错带为研究对象，开展了农牧交错带的资源调查[3]、界线变迁[4]、景观和土地利用变化[5-7]、生态系统服务价值[8-9]、人地关系及区域发展[10-11]、草原利用[12-14]、草地退化与土地沙化和荒漠化[15-16]、耕地变化[17-19]、农牧用地及相互关系[20-22]等大量的研究工作，摸清了区域内土地利用

收稿日期： 2023-02-02； **修订日期：** 2023-03-02
基金项目： 河北省省级科技计划软科学研究专项资助（225576122D）
作者简介： 秦彦杰（1980-），男，副研究员，研究方向为土地生态学、农业经济. E-mail: 149141589@qq.com
通讯作者： 刘欣. E-mail: liuxin8103@163.com

变化规律、农牧业发展模式等问题,已有研究成果为农牧交错带"三生"用地转换规律和协调发展提供了基础。张家口坝上地区位于北方农牧交错带中段,具有典型的农牧交错带特征,草地、林地等生态用地和作为农业生产用地的耕地是张家口坝上地区主要的土地利用类型,其二者合计面积占比95%以上。历史上该区域水草丰美,以游牧文明为主,明清以来由于汉人的居住,农耕文明的传入导致大量的草原被开垦为耕地作为农业生产用地,开始了农牧交错发展的时代,当出现大规模的沙尘暴和土地沙化后,人们意识到在坝上地区大规模开发耕地的危害性,开始了实施生态建设,该区域承担的生态功能越来越强[23]。2019年,《张家口首都水源涵养功能区和生态环境支撑区建设规划(2019—2035年)》的印发,明确了该区域"首都水源涵养功能区和生态环境支撑区"的发展定位,生态优先必将产生生态用地的扩张需求。因此,探讨该区域生态用地与生产用地相互转换规律,提出生产用地与生态用地的协调发展对策,实现耕地在保障粮食综合生产能力的同时又提升生态服务功能,来缓解区域生态空间和生产空间冲突的问题,对协调区域发展用地具有现实意义。

1 研究区概况与方法

1.1 研究区概况

本研究的张家口坝上地区包括张北县、康保县、沽源县和尚义县4县,位于河北西北部,土地总面积1.38×10^4 km^2,占河北省总面积的7.30%。区域地势较为开阔,典型的波状高原,海拔在1300~1800 m,呈南高北低格局。土壤以栗钙土分布最为广泛,易受人为干扰且较难恢复,土壤有机质含量较低。气候系大陆性季风气候,自然条件恶劣,表现为寒冷、多风、干旱等特征,年均气温3.4 ℃,年降水量400 mm左右。张家口坝上地区生态用地与生产用地镶嵌交错分区,生态用地以草地和林地为主,生产用地以耕地为主,质量较差,耕地质量等级在11~14之间,生态与生产用地之间变化较为频繁,时常有相互转换,典型的农牧交错带土地利用格局。

1.2 数据来源

本研究所使用社会经济数据来自《河北经济年鉴》(2001—2021年)、《张家口经济年鉴》(2001—2021年)、《河北农村统计年鉴》(2001—2021年)、中国县(市)社会经济统计年鉴等资料。历史资料主要来自于张家口市地方志、土地志、农业志和林业志等。土地覆被数据来源于自然资源部和国家基础地理信息中心提供的Globe Land 30数据(2000年、2010年和2020年)(http://www.globallandcover.com/home.html?type= data)。部分土地利用数据来自于自然资源行政主管部门统计数据。根据已有研究基础[24-25],基于土地覆被数据进行归并与分类而获得生态用地与生产用地,生态用地是指具有重要生态功能,以提供生态产品和生态服务为主要功能的土地,包含土地覆被数据的林地、草地、灌木地、湿地、水体、裸地等6个类别;生产用地主要指农业生产空间用地,即土地覆被数据中的耕地。地理空间数据包括行政区划、自然因子(地形、地貌、土壤、河流等)、交通、旅游等数据主要来源于河北省地理信息开发应用技术创新中心,通过研究区裁剪和格式转换,统一制作成SHP格式、GRID格式两种格式数据。

1.3 研究方法

1.3.1 土地利用转移矩阵和地类保留率 利用ArcGIS软件,将研究区2000年、2010年和2020年土地覆被数据进行空间叠加分析,得出土地利用类型转移矩阵,进而获取生态用地与生产用地相互转换数据。土地利用转移矩阵是研究不同土地利用类型转移方向和数量变化的经典方法[6],可以直观展现各地类的类型演化过程。其数学表达式为:

$$A_{ij}=\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \cdots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \cdots & A_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ A_{n1} & A_{n2} & \cdots & A_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中:A_{ij}为研究期初第i种土地利用类型在研究期末转换成第j种土地利用类型的土地面积;i(i=1, 2, …, n)、j(j=1, 2, …, n)分别表示研究期初和研究期末的地类;n代表土地利用类型数。

各土地利用类型保持自身面积不变的比例即保留率,可比较分析不同土地利用类型在研究时段内的稳定性情况,某一土地利用类型保留率越大,其空间稳定性也越大,在区域尺度上更有利于景观自身功能和过程的正常运行与多样性的维持。

1.3.2 地理集中度 利用GIS空间分析功能,提取生态用地与生产用地转换地块,分别选择气象、地形地貌、位置、土壤、水资源和耕地质量6个方面13个空间数据与其进行叠加,利用地理集中度来统计分

析各个转移地块的自然地理特征[26]。该指标反映不同自然因素下生态用地和生产用地之间的转换概率，数值越大说明越容易发生转换，计算公式如下所示：

$$CR = \frac{S_k}{\sum_{k=1}^{n} S_k} \tag{2}$$

式中：CR为某一自然地理因素的地理集中度(%)；S_k为某一自然地理因素在第k分级标准下发生生态用地和生产用地转换的面积(hm^2)；n为某一自然地理因素的分级数量。

1.3.3 地理探测器模型　利用地理探测器模型对农牧交错带生态用地与生产用地相互转换的影响机理分析。地理探测器模型是由王劲峰等[27]开发的一种空间分析模型，可以探测某地理属性与其解释因子之间的关系。该方法基于空间分异理论，假设地理事物总是存在于特定的空间位置，影响其变化的环境因子在空间上具有差异性，若某环境因子与地理事物的变化在空间上具有显著一致性，则说明该环境因子对地理事物的发生与发展具有决定意义，并结合GIS空间分析技术和集合论，以"因子力"作为度量指标，探测地理事物属性y与其解释因子之间的关系，从而有效地识别因子变量与结果变量间的相关关系[28-29]。地理探测器模型如下：

$$P_{D,U} = 1 - \frac{1}{n\sigma_U^2}\sum_{i=1}^{m} n_{D,i}\sigma^2 U_{D,i} \tag{3}$$

式中：$P_{D,U}$为生态用地与生产用地相互转换的影响因素探测力指标；σ_U^2为整个区域生态用地与生产用地转换数量的方差；$\sigma^2 U_{D,i}$为次一级区域的方差；n为整个区域的样本数；$n_{D,i}$为次一级区域的样本数；m为次级区域个数，即对影响进行自然聚类分级分区的个数。假设$\sigma^2 U_{D,i} \neq 0$，模型成立，$P_{D,U}$的取值区间为[0, 1]，$P_{D,U}$值越大，说明影响因素对生态用地与生产用地转换的影响越大。气候因素选择年均降雨量(X_1)指标，地形因素选择地貌类型(X_2)、坡度(X_3)、高程(X_4)3个指标，土壤因素选择土壤类型(X_5)、土壤有机质(X_6)指标，区位因素选择距乡镇距离(X_7)、路网密度(X_8)、距离旅游景点远近(X_9)、距水系距离(X_{10})、距湖泊水库距离(X_{11})指标，社会经济因素选择农民人均收入(X_{12})、人口密度(X_{13})、人均耕地面积(X_{14})，共14个指标(表1)，探测农牧交错带生态用地与生产用地相互转换的影响因素。

2 结果与分析

2.1 生产用地与生态用地时空变化

分别统计2000年、2010年和2020年张家口坝上地区的生态用地与生产用地面积，分析其时空变化特征。生产用地受地形地貌的影响，在农牧交错带与生态用地呈镶嵌交错分布，2000年和2020年生产用地空间分别为85.82×10⁴ hm²、76.33×10⁴ hm²，研究期内缩小了9.49×10⁴ hm²，其比例由62.29%降低为55.40%，其中2000—2010年和2010—2020年分别减少15.37×10⁴ hm²和增加5.89×10⁴ hm²，表现为先减少后增加的变化趋势。2000年和2020年生态用地空间分别为49.58×10⁴ hm²、57.03×10⁴ hm²，研究期内扩大了7.45×10⁴ hm²，其比例由35.99%增加到41.40%，其中2000—2010年和2010—2020年分别

表1　地理影响因素指标及分级标准

Tab. 1　Indicators and grading standards of geographical impact factors

阈值	X_1/mm	X_2	X_3/(°)	X_4/m	X_5	X_6/ppm	X_7/km	X_8 /(m·km^{-2})	X_9/km	X_{10}/km	X_{11}/km	X_{12}/元	X_{13} /(人·km^{-2})	X_{14} /(hm^2·人$^{-1}$)
一级区	350~400	侵蚀剥蚀中山	0~2	900~1200	栗钙土	0.21~0.04	＜5.0	0~0.13	＜5	＜1	＜1	＜11000	45~50	0.35~0.40
二级区	400~450	侵蚀剥蚀丘陵台地	2~6	1200~1400	风沙土	0.04~0.06	≥5.0	0.13~0.33	≥ 5	≥1	≥1	11000~12000	50~55	0.40~0.45
三级区	450~500	洪积冲积平原	6~15	1400~1500	草甸土	0.06~0.08		0.33~0.68				12000~13000	＞55	＞0.45
四级区		洪积冲积、湖积高原	15~25	1500~1700	沼泽土	0.08~0.10		0.68~1.38				＞13000		
五级区			＞25	1700~2155	栗褐土	＞0.10		1.38~2.22						

增加 14.39×10^4 hm^{2}和减少 6.94×10^4 hm^2,其内部构成地类也发生改变,其中草地比例由89.62%提高为91.38%,林地比例由6.52%降低为6.14%,湿地、水体等其他地类所占比例由3.86%降低为2.48%。

2.2 生产用地与生态用地转换及其自然地理特征

提取生态用地与生产用地转换地块,叠加分析各地块的自然地理特征,随着时间的推移,张家口坝上地区生态用地与生产用地相互转换较为频繁,但转换的程度和广度有所降低,未发生变化地类的保留率由82.72%提升到了86.12%(表2)。

2.2.1　生产用地转生态用地　2000—2020年生产用地向生态用地转换 21.23×10^4 hm^2。其中,2000—2010年生产用地转换为生态用地 17.12×10^4 hm^2,占总面积的12.43%,主要分布在康保县、张北县和沽源县,成为主要的地类转换类型,主要因为在该时期实施了退耕还林还草工程等政策;2010—2020年,生产用地转换为生态用地 4.11×10^4 hm^2(表2),占总面积的2.98%,主要分布在尚义县和张北县(图1)。分析2000—2010年和2010—2020年两个时段内转移地块特征(表3),生产用地转为生态用地具有明显的发生规律。2000—2010年转移地块主要集中在降雨量400 mm以下的区域,2010年后逐渐转移到降雨量400 mm以上的区域。海拔从高往低转移,2000—2010年集中在1400~1500 m,2010—2020年集中在900~1400 m。坡度从高向低转移,2000—2010年集中在坡度在6°~15°的耕地上,2010年后转移到0°~6°。地块距离乡镇驻地一般都较远,优先在距离乡镇驻点较远的地块转移。在河流两侧2 km内发生转移的概率为21.72%~47.98%,影响较为明显。旅游景点对地块转移有一定的影响,在旅游景点5 km内发生转移的概率为5.88%~13.72%,影响不明显。转移地的土壤类型以栗钙土为主,土壤质地为沙质,土壤有机质多在0.041~0.060ppm。湖泊对发生转移的影响较小,湖泊2 km内发生概率仅为0.33%~0.96%。发生转移的耕地质量多在13等级和14等级,地貌单元和路网密度对生态用地与生产用地的相互转换影响不明显。

2.2.2　生态用地转生产用地　2000—2020年生态用地向生产用地转换 12.47×10^4 hm^2。其中,2000—2010年生态用地向生产用地转换 2.35×10^4 hm^2(表2),占总面积的1.71%,在区域内呈零散状分布。2010—2020年,生态用地转换为生产用地 10.12×10^4 hm^2,占7.34%,在区域内零散分布(图2)。分析2000—2010年和2010—2020年两个时段内转移地块特征(表3),生态用地转为生产用地具有明显的发生规律。2000—2010年转移地块主要集中在降雨量400 mm以上的区域,2010年后逐渐转移到降雨量400 mm以下的区域,与生产用地转生态用地相反。海拔从低往高转移,2000—2010年集中在1200~1400 m,2010—2020年集中在1400~1500 m。坡度多发生在2°~6°区域。地块距离乡镇驻地一般都较远,优先在距离乡镇驻点较远的地块转移。在河流两侧2 km内发生转移的概率为24.86%~37.64%,影响较为明显。旅游景点对地块转移有一定的影响,在旅游景点5 km内发生转移的概率为3.52%~12.89%,影响不明显。转移地的土壤类型以栗钙土为主,土壤质地为沙质,土壤有机质多在0.041~0.060ppm。湖泊对发生转移的影响较小,湖泊2 km内发生概率仅为0.38%~0.94%。地貌单元和路网密度对生态用地与生产用地的影响不明显。

表2　2000—2020年张家口坝上地区"三生用地"转移面积统计

Tab. 2　Statistics of the transfer area of land for "three purposes" in the Bashang region of Zhangjiakou from 2000 to 2020

	转移面积/hm^2		占总面积的比例/%	
	2000—2010年	2010—2020年	2000—2010年	2010—2020年
生产用地转为生态用地	171206.10	41119.20	12.43	2.98
生产用地转为生活用地	6001.47	7187.94	0.44	0.52
生态用地转为生产用地	23507.38	101168.03	1.71	7.34
生态用地转为生活用地	6358.68	9483.30	0.46	0.69
生活用地转为生产用地	1188.45	2723.31	0.09	0.20
生活用地转为生态用地	1297.08	1589.85	0.09	0.12
没有发生变化	1139625.00	1186539.00	82.72	86.12

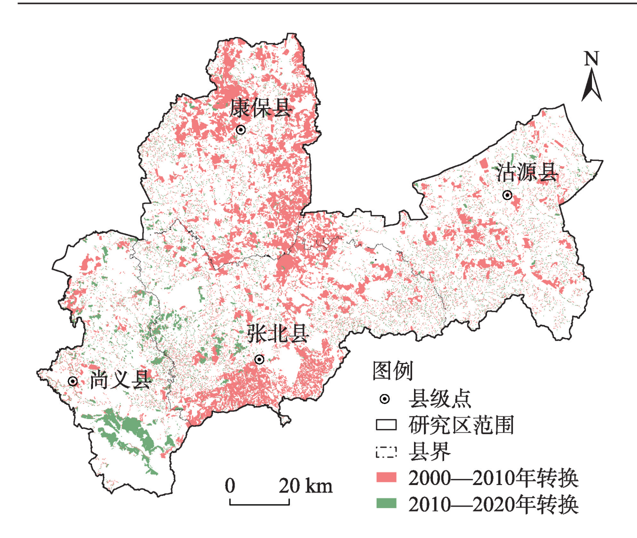


图1 2000—2020年张家口坝上地区生产用地转为生态用地空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of production land converted to ecological land in Bashang region of Zhangjiakou from 2000 to 2020

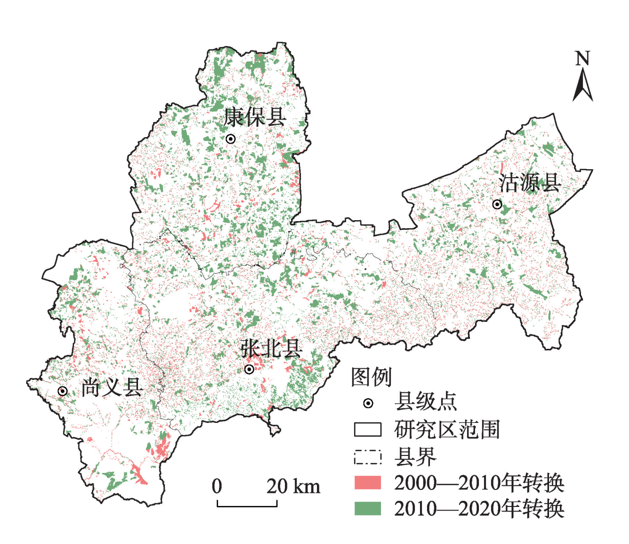


图2 2000—2020年张家口坝上地区生态用转为地生产用地空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of ecological land converted to land for production in Bashang region of Zhangjiakou from 2000 to 2020

2.3 驱动因素分析

由表4可知，各因素对张家口坝上地区生态用地与生产用地转换都有不同程度的影响，同一因素对生态用地和生产用地之间相互转换的解释力也有差异。2000—2020年，生产用地转生态用地影响因素的解释力从大到小依次为：土壤有机质、人均耕地面积、坡度、年均降雨量、距乡镇距离。其中解释力最强的为土壤有机质，q值达到0.426，表明土壤有机质是决定生产用地转变为生态用地的主导因子，农户根据生产用地的土壤有机质含量高低，选择土壤贫瘠的生产用地优先转变为生态用地；排在第二位的影响因素是人均耕地面积(0.325)，人均耕地面积较多的区域更容易发生生产用地转换为生态用地；排名第三的影响因素是坡度(0.314)，多选择坡度在6°~15°的区域发生生产用地转换为生态用地；其次是年均降雨量和距乡镇距离两个影响因素，解释力也较强，分别为0.242和0.126；距离乡镇距离、旅游景点距离、路网密度、水源地距离等其他影响因素的解释力均小于0.1，对生产用地转换为生态用地的影响程度低。交互作用探测结果表明，各因子间交互作用对生产用地转换为生态用地的影响远大于单个因素，多以双因子增强为主。其中土壤有机质∩人均耕地面积(0.692)为双因子增强，为交互作用影响因素中解释力最强，其次是土壤有机质∩年均降雨量(0.536)为双因子增强，排名第三的影响因素为土壤有机质∩坡度(0.515)。通过风险探测器的定量分析，结合前文转换地块的地理特征分析，可以得出土壤有机质含量低、人均耕地面积多、坡度6°~15°和年均降雨量低于400 mm的地区容易发生生产用地向生态用地转变。

反过来，生态用地转生产用地影响因素的解释力从大到小依次为：坡度、年均降雨量和人均耕地面积。其中，坡度(0.451)对生态用地转生产用地的解释力最强，在坡度2°~6°地区多发生；其次为年均降雨量(0.261)，多在年均降雨量大于400 mm的地区发生；排名第三的是人均耕地面积(0.1415)；所选的其他影响因素对生态用地转生产用地的解释力较低。可以看出坡度、年均降雨量和人均耕地面积3个影响因素对生态用地和生产用地的互相转换都有着重要的决定性作用，土壤有机质含量仅对生产用地转换为生态用地有着重要影响力。交互作用探测结果表明，各因子间交互作用对生产用地转换为生态用地的影响远大于单个因素，多以双因子增强为主。其中，坡度∩地貌类型(0.547)为双因子增强，为交互作用影响因素中解释力最强，其次为坡度∩年均降雨量(0.342)为双因子增强，排名第三的影响因素为人均耕地面积∩农民人均收入(0.239)。通过风险探测器的定量分析，结合前文转换地块的地理特征分析，可以得出在坡度2°~6°较缓区、年均降雨量大于400 mm、人均耕地面积少的地区容易发生生态用地向生产用地转变。

表3 2000—2020年生态用地和生产用地转移地块自然地理驱动特征

Tab. 3 Natural geographical driving characteristics of ecological land and production land transfer plots from 2000 to 2020

		生产用地转生态用地		生态用地转生产用地	
		2000—2010年	2010—2020年	2000—2010年	2010—2020年
气象	降雨量	50.45%地块分布在降雨量350~400 mm,48.86%分布在降雨量400~450 mm区域	13.84%地块分布在降雨量350~400 mm,85.69%分布在降雨量400~450 mm区域	19.34%地块分布在降雨量350~400 mm,80.46%分布在降雨量400~450 mm区域	47.13%地块分布在降雨量350~400 mm,51.97%分布在降雨量400~450 mm区域
地形地貌	坡度	坡度以6°~15°为主,占57.71%,其次为2°~6°,占25.13%	坡度以0°~2°为主,占39.42%,其次为2°~6°,占30.59%	坡度以2°~6°为主,占43.65%,其次为6°~15°,占31.95%	以2°~6°为主,占55.38%,其次为6°~15°,占25.57%
	地貌	以洪积冲积高原、湖积高原为主,分别占22.82%和19.62%	以侵蚀剥蚀中山和玄武岩台地为主,分别占39.47%和19.08%	以洪积冲积高原、侵蚀剥蚀丘陵为主,占比分别为30.10%和17.07%	以洪积冲积高原和湖积高原为主,占比分别为37.80%和27.78%
	海拔	主要集中在1400~1500 m,占57.71%,其次在1200~1400 m,占25.13%	主要集中在900~1200 m和1200~1400 m,分别占39.42%和30.59%	主要集中在1200~1400 m和1500~1700 m,占比分别为38.87%和30.89%	主要集中在1400~1500 m,占49.68%,其次为1200~1400 m,占38.30%
位置	距乡镇距离	距乡镇距离5 km以上的比例71%	距乡镇距离5 km以上的比例59%	距乡镇距离5 km以上的比例57.6%	距乡镇距离5 km以上的比例70.7%
	距旅游景点距离	距离旅游景点5 km以内13.72%,其中自然景观9.77%,人为景观3.95%	距离旅游景点5 km以内占5.88%,其中自然景观占3.51%,人为景观占2.37%	距离旅游景点5 km以内16.41%,其中自然景观占3.52%,人为景观占12.89%	距离旅游景点5 km以内占11.64%,其中自然景观占7.79%,人为景观占3.85%
	路网密度	0.00031 $m^2 \cdot km^{-2}$	0.00031 $m^2 \cdot km^{-2}$	0.00028 $m^2 \cdot km^{-2}$	0.00028 $m^2 \cdot km^{-2}$
土壤	土壤类型	以壤性洪冲积栗钙土为主,占总面积的52.92%,其次为粗散状栗钙土和暗实状栗钙土,比例分别为11.21%和10.63%	以黄土状栗钙土和壤性洪冲积栗钙土为主,二者合计占总面积的50.34%	以壤性洪冲积栗钙土为主,占总面积的34.27%,其次为粗散状栗钙土和壤性冲击碱化栗钙土,比例分别为19.84%和13.02%	以壤性洪冲积栗钙土为主,占总面积的54.64%
	土壤质地	以沙质为主,占总面积的80.31%,其次为黏质占16.06%	以沙质为主,占总面积的72.45%,其次为黏质占21.00%	以沙质为主,占总面积的69.08%,其次为黏质占24.14%	以沙质为主,占总面积的83.44%
	土壤有机质	多在0.041~0.060ppm,占总面积的64.28%,土壤有机质含量在0.061~0.08ppm的地块占30.83%	多在0.041~0.060ppm,占总面积的57.35%,土壤有机质含量在0.021~0.040ppm的地块占25.27%	多在0.041~0.060ppm,占总面积的64.17%,土壤有机质含量在0.061~0.08ppm的地块占24.94%	多在0.041~0.060ppm,占总面积的66.78%,土壤有机质含量在0.021~0.040ppm的地块占26.08%
水资源	距离水源地距离	在河流两侧1 km内仅占21.72%,在湖泊周边2 km内仅有0.96%	在河流两侧1 km内仅占47.98%,在湖泊周边2 km内仅有0.33%	在河流两侧1 km内仅占37.64%,在湖泊周边2 km内仅有0.94%	在河流两侧1 km内仅占24.86%,在湖泊周边2 km内仅有0.38%
耕地质量	耕地分等质量	耕地质量经济等级集中在13等和14等,共97.00%,分别占51.00%和46.02%	耕地质量经济等级集中在13等,占70.89%,其次14等,占23.74%	-	-

3 讨论

本研究基于对张家口坝上地区近20 a来生态用地和生产用地转换地块的地理特征总结与驱动因素分析,得出张家口坝上地区生态用地与生产用地转换仍较为频繁,近年来出现大量的生态用地转为生产用地,李超等[30]在研究科尔沁左翼后旗的耕地变化时也发现该现象。在实地调研中还发现大面积集中连片的生态用地转为生产用地种植蔬菜等农作物,农业利用强度较大,此变化势必会加剧该区域脆弱生态环境的恶化,加重生产用地与生态用地的竞争关系,使原本有限的生态用地扩张空间更加紧张。这与张家口作为国家重点生态功能区和首都"两区"的功能定位不相符,与未来该区域以提升生态功能,扩大生态用地空间的发展方向不协调,加剧了生态用地与生产用地之间的竞争关系。基于此,提出如下对策建议:(1) 开展生态用地和耕地转换的专项调查。为进一步全面掌握坝上地区

表4 农牧交错带生态用地和生产用地的转换影响因素地理探测结果

Tab. 4 Geographical detection results of factors affecting the conversion of ecological land and productive land in the farming-pastoral ecotone

	生产用地转生态用地		生态用地转生产用地	
单个因子解释力	土壤有机质	0.426	坡度	0.451
	人均耕地面积	0.325	年均降雨量	0.261
	坡度	0.314	人均耕地面积	0.1415
	年均降雨量	0.242	农民人均收入	0.0958
	距乡镇距离	0.126	高程	0.091
	人口密度	0.0925	距乡镇距离	0.0685
	高程	0.086	人口密度	0.058
	农民人均收入	0.0652	距水系距离	0.0536
	距水系距离	0.0625	地貌类型	0.042
	地貌类型	0.0562	土壤类型	0.032
	土壤类型	0.036	土壤有机质	0.023
	距旅游景点	0.0213	路网密度	0.0112
	路网密度	0.012	距湖泊水库距离	0.00957
	距湖泊水库距离	0.00584	距旅游景点	0.00752
交互因子解释力	土壤有机质∩人均耕地面积	0.692	地貌类型∩坡度	0.547
	土壤有机质∩平均降雨量	0.536	年均降雨量∩坡度	0.342
	土壤有机质∩坡度	0.515	人均耕地面积∩农民人均收入	0.239
	年均降雨量∩坡度	0.452	年均降雨量∩人均耕地面积	0.232
	年均降雨量∩人均耕地面积	0.335	年均降雨量∩农民人均收入	0.216
	土壤有机质∩地貌类型	0.325	年均降雨量∩高程	0.214

生态用地和生产用地相互转换特征，针对近年来耕地增加的趋势，建议由自然资源、农业、林草等主管部门联合开展2000年以来生态用地和生产用地转换的专项调查。(2) 细化张家口坝上地区土地用途管制规则。坝上地区作为典型的农牧交错带，具有独特的土地利用特点，应研究制定针对张家口坝上地区特殊的土地用途管制规则，逐步引导土地使用者合理正确的开发利用土地。(3) 以功能提升代替规模扩张作为未来发展思路。张家口坝上地区不仅承担着国家重要生态功能的任务，而且还承担着区域粮食生产任务。在目前严峻的粮食安全形势下，实现生态保护和粮食生产共赢的唯一出路就是提升用地功能。

本研究在驱动因素分析方面仍存在以下不足，农牧交错带生态用地和生产用地的转移受自然因素和社会经济因素共同影响[31]，其中自然因素影响着发生转移的可能性和空间位置，社会经济因素中对发生转移起着促进作用。2000年以后退耕还林还草、京津风沙源治理、天然林保护等一系列国家生态建设工程相继启动，促使生产用地转为生态用地转变的一个重要原因；同时，2000年国家在张家口坝上地区实施土地后备资源开发使大量的生态用地转为生产用地。农户土地利用行为从微观上驱动着张家口坝上地区生态用地与生产用地之间的相互转换，一般情况下利用生产用地相对于生态用地的经济收益较高，在土地利用的经济利益驱使下往往会向着收益较高的土地利用方式转变，使一些农户自行开发生态用地为生产用地。本研究选取的驱动因素更偏重于自然地理因素，对社会经济因素未进行深入分析。下一步的研究中考虑政策调控和土地利用的经济利用驱动等人为因素影响，更加全面的分析各方面因素对生态用地和生产用地的转换影响，为农牧交错带国土空间优化和利用提供更加科学的建议，为首都“两区”建设提供更加科学的依据。

4 结 论

(1) 2000—2020年，张家口坝上地区土地利用程度有所降低，生态用地空间扩张了5.41%，表现为

先增后减的变化趋势,生产用地空间缩减了6.89%,表现为先减后增的变化趋势。

(2) 生态用地和生产用地之间相互转换频繁,其中,生产用地转生态用地 21.23×10^4 hm^2,2010年后转换数量逐渐减少,发生转移的地块表现为降雨量从少到多,海拔从高到低,坡度从高到低的特征;生态用地转生产用地为 12.47×10^4 hm^2,2010年后转换数量逐渐增加,发生转移的地块开始逐渐向生态条件恶劣地区转移。

(3) 土壤有机质、人均耕地面积、坡度等因素是生产用地向生态用地转换的主要影响因素;土壤有机质与人均耕地面积的交互作用解释力最大,表明应注重人均耕地资源少的地区的优质耕地建设;土壤有机质含量低、人均耕地面积多、坡度6°~15°和年均降雨量低于400 mm的地区容易发生生产用地向生态用地转变,今后应加强该区域的生产用地管护,或者作为退耕还林还草的优选区域。生态用地向生产用地转变的主要影响因素是坡度、年均降雨量和人均耕地面积;坡度与地貌类型的交互作用解释力最大,表明应注重2°~6°的缓坡区域的生态用地保护;在坡度2°~6°较缓区、年均降雨量大于400 mm、人均耕地面积少的地区容易发生生态用地向生产用地转变,应引起重视。

参考文献(References):

[1] 赖国华, 胡宝清, 李敏, 等. 桂西南—北部湾地区"三生"用地演变及其驱动力的地理探测[J]. 水土保持研究, 2021, 28(4): 236-243. [Lai Guohua, Hu Baoqing, Li Min, et al. Dynamic changes of ecological-living-production land and geographical detect of their driving forces in Southwest Guangxi-Beibu Gulf Zone[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2021, 28(4): 236-243.]

[2] 赵松乔. 察北、察盟及锡盟——一个农牧过渡地区的经济地理调查[J]. 地理学报, 1953, 19(1): 43-60. [Zhao Songqiao. Chabei, Chameng and Ximeng: An economic geography survey of a transitional area between agriculture and animal husbandry[J]. Journal of Geography, 1953,19(1): 43-60.]

[3] 赵军, 李霞. 中国农牧交错带研究进展[J]. 草业科学, 2009, 26(1): 94-99. [Zhao Jun, Li Xia. Research progress on the farming-pastoral ecotone in China[J]. Pratacultural Science, 2009, 26(1): 94-99.]

[4] 石晓丽, 史文娇. 北方农牧交错带界线的变迁及其驱动力研究进展[J]. 农业工程学报, 2018, 34(20): 1-11. [Shi Xiaoli, Shi Wenjiao. Review on boundary shift of farming-pastoral ecotone in northern China and its driving forces[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(20): 1-11.]

[5] 张军涛, 李颖. 近10年来东北农牧交错区土地利用变化研究[J]. 地理科学进展, 2003, 22(6): 551-559. [Zhang Juntao, Li Ying. Study on the land use change of transitional areas of farming and pasturing in northeastern China in recent ten years[J]. Progress in Geography, 2003, 22(6): 551-559.]

[6] 赵艳霞, 刘欣, 秦彦杰, 等. 河北省农牧交错区LUCC及其对生态脆弱性的影响[J]. 水土保持研究, 2011, 18(5): 205-211. [Zhao Yanxia, Liu Xin, Qin Yanjie, et al. LUCC and its impact on vulnerability of agro-pastoral areas in Hebei Province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2011, 18(5): 205-211.]

[7] 杨卓, 李全, 魏斌, 等. 典型东北农牧交错区土地利用/覆被变化分析[J]. 水土保持研究, 2010, 17(4): 212-216. [Yang Zhuo, Li Quan, Wei Bin, et al. Analysis of land use/cover changes of typical agro-pasture Zigzag Zone in Northeast China[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2010, 17(4): 212-216.]

[8] 周佳宁, 秦富仓, 邹伟, 等. 华北农牧交错区LUCC对生态系统服务及生态环境质量的影响——以内蒙古自治区多伦县为例[J]. 水土保持通报, 2019, 39(4): 249-255. [Zhou Jianing, Qin Fucang, Zou Wei, et al. Response of land use/cover change to ecosystem servives and ecological environment quality in agro-pastoral transitional zone of northern China[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(4): 249-255.]

[9] 常虹, 杨武, 石磊, 等. 基于土地利用的北方农牧交错区碳固定和土壤保持时空变化[J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38(3): 484-493. [Chang Hong, Yang Wu, Shi Lei, et al. Spatial and temporal changes of carbon sequestration and soil conservation based on landuse in the farming pastoral ecotone of North China[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2021, 38(3): 484-493.]

[10] 李文龙, 匡文慧, 吕君, 等. 北方农牧交错区人地系统演化特征与影响机理——以内蒙古达茂旗为例[J]. 地理学报, 2021, 76(2): 487-502. [Li Wenlong, Kuang Wenhui, Lv Jun, et al. Adaptive evolution mechanism of rural human-land system in farming-and-pastoral areas of northern China[J]. Acta Geographica Sinica, 2021, 76(2): 487-502.]

[11] 侯琼, 张秀峰. 农牧交错区农业可持续发展与政策调整[J]. 中国农业资源与区划, 2005, 26(3): 56-59. [Hou Qiong, Zhang Xiufeng. Sustainable agriculture development and policy adjustment in areas where agriculture mixed with animal husbandry[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2005, 26(3): 56-59.]

[12] 周立华, 侯彩霞. 北方农牧交错区草原利用与禁牧政策的关键问题研究[J]. 干旱区地理, 2019, 42(2): 354-362. [Zhou Lihua, Hou Caixia. Key problems of grassland utilization and the graze ban policy in farming-pastoral ecotone of northern China [J]. Arid Land Geography, 2019, 42(2): 354-362.]

[13] 周道纬, 卢文喜, 夏丽华, 等. 北方农牧交错带东段草地退化与水土流失[J]. 资源科学, 1999, 21(5): 59-63. [Zhou Daowei, Lu

Wenxi, Xia Lihua, et al. Grassland degradation and soil erosion in the eastern ecotone between agriculture and animal husbandry in northern China[J]. Resources Science,1999, 21(5): 57-61.]

[14] 杨恒山, 王国君, 陈皆辉, 等. 杂交狼尾草"牧特利"生物学特性及刈割次数对产草量和品质的影响[J]. 草地学报, 2004, 12(4): 318-321. [Yang Hengshan, Wang Guojun, Chen Jiehui, et al. Biological characteristics of pennisetum hybrid "nutrifeed" and the effect of cutting frequencies on its yield and quality[J]. Acta Agrestia Sinica, 2004, 12(4): 318-321.]

[15] 安韶山, 常庆瑞, 刘京, 等. 农牧交错带土地沙化的本质及其形成研究[J]. 生态学报, 2003, 23(1): 106-111. [An Shaoshan, Chang Qingrui, Liu Jing, et al. Study on the characteristic properties and genesis of land desertification in the agriculture and husbandry interlace zone[J]. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(1): 106-111.]

[16] 安晨宇, 王仁德, 周海涛, 等. 秋免耕对坝上地区农田风蚀及土壤理化性质的影响[J]. 中国沙漠, 2022, 42(2): 95-103. [An Chenyu, Wang Rende, Zhou Haitao, et al. Effect of no-tillage in autumn on farmland wind erosion and soil properties in Bashang district[J]. Journal of Desert Research, 2022, 42(2): 95-103.]

[17] 毛留喜, 宇振荣, 程序, 等. 北方农牧交错带人口胁迫与耕地利用的相互关系[J]. 农业工程学报, 2000, 16(4): 11-14. [Mao Liuxi, Yu Zhenrong, Cheng Xu, et al. Relationship between population stress and land use in ecotone between agriculture and animal husbandry in North China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering 2000, 16(4): 11-14.]

[18] 陶泽涪, 王世清, 孙丕苓, 等. 中国北方农牧交错带耕地时空分异及驱动因素[J]. 干旱区地理, 2022, 45(1): 153-163. [Tao Zefu, Wang Shiqing, Sun Peiling, et al. Spatio-temporal differentiation and driving factors of cropland in the agro-pastoral ecotone of northern China[J]. Arid Land Geography, 2022, 45(1): 153-163.]

[19] 白淑英, 张树文, 张养贞. 农牧交错区50年来耕地开发过程及其驱动因素分析——以大庆市杜尔伯特蒙古族自治县为例[J]. 资源科学, 2005, 27(2): 71-76. [Bai Shuying, Zhang Shuwen, Zhang Yangzhen. Stages and determinants of farmland development and driving forces in Duerbote County during the past 50 years[J]. Resources Science, 2005, 27(2): 71-76.]

[20] 徐冬平, 李同昇, 薛小杰, 等. 北方农牧交错区不同农牧用地格局下的可持续发展研究——以内蒙古通辽市为例[J]. 水土保持研究, 2017, 24(1): 219-225. [Xu Dongping, Li Tongsheng, Xue Xiaojie, et al. Research on sustainable development of different agricultural and pastoral land use patterns in northern farming pasturing interlaced areas[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2017, 24(1): 219-225.]

[21] 王利文. 中国北方农牧交错带生态用地变化对农业经济的影响分析[J]. 中国农村经济, 2009, 25(4): 80-85. [Wang Liwen. Impact of ecological land use change on agricultural economy in the farming-pastoral ecotone of northern China[J]. Chinese Rural Economy, 2009, 25(4): 80-85.]

[22] 宋乃平, 卞莹莹, 王磊, 等. 农牧交错带农牧复合系统的可持续机制[J]. 生态学报, 2020, 40(21): 7931-7940. [Song Naiping, Bian Yingying, Wang Lei, et al. Sustainable mechanism of agro-pastoral complex system in agro-pastoral ecotone[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(21): 7931-7940.]

[23] 张家口市土地志编纂委员会. 张家口市土地志[M]. 张家口: 张家口市海林装订印刷厂, 2001. [Zhang Jiakou Land Chronicles Committee. The Chronicles of Zhangjiakou[M]. Zhangjiakou: Hailin Binding and Printing Factory, 2001.]

[24] 王泽, 闫弘文, 刘晓燕, 等. 海阳市"三生"用地利用转型及管制对策研究[J]. 中国农业资源与区划, 2020, 41(3): 252-261. [Wang Ze, Yan Hongwen, Liu Xiaoyan, et al. Study on land utilization transformation and control countermeasures of "production-living-ecological" land in Haiyang City[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2020, 41(3): 252-261.]

[25] 李明薇, 郧雨旱, 陈伟强, 等. 河南省"三生空间"分类与时空格局分析[J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(9): 13-20. [Li Mingwei, Yun Yuhan, Chen Weiqiang, et al. Classification and spatial temporal analysis of "production- living- ecological" spaces in Henan Province[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2018, 39(9): 13-20.]

[26] 王德怀, 李旭东. 贵州乌江流域人口与经济发展协调性研究[J]. 地理科学, 2019, 39(3): 477-486. [Wang Dehuai, Li Xudong. Coordination of population and economic development in the Wujiang River Basin of Guizhou Province[J]. Scientia Geographica Sinica, 2019, 39(3): 477-486.]

[27] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. 地理学报, 2017, 72(1): 116-134. [Wang Jinfeng, Xu Chengdong. Geodetector: Principle and prospective[J]. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(1): 116-134.]

[28] 常梦迪, 王新军, 李娜, 等. 基于CSLE模型的天山北坡中段山区水力侵蚀时空变化特征及影响因素研究[J]. 干旱区研究, 2021, 38(4): 939-949. [Chang Mengdi, Wang Xinjun, Li Na, et al. Study on temporal and spatial variation characteristics and influencing factors of hydraulic erosion in the middle of the northern slope of Tianshan Mountains based on CSLE model[J]. Arid Zone Research, 2021, 38(4): 939-949.]

[29] 赵蒙恩, 闫庆武, 刘政婷, 等. 鄂尔多斯市土壤侵蚀时空演变及影响因子分析[J]. 干旱区研究, 2022, 39(6): 1819-1831. [Zhao Meng'en, Yan Qingwu, Liu Zhengting, et al. Analysis of temporal and spatial evolution and influencing factors of soil erosion in Ordos City[J]. Arid Zone Research, 2022, 39(6): 1819-1831.]

[30] 李超, 张凤荣, 张天柱, 等. 农牧交错区耕地变化及其非边际化特征分析——基于规模与收益水平视角[J]. 中国农业大学学报, 2019, 24(3): 146-155. [Li Chao, Zhang Fengrong, Zhang Tianzhu, et al. Analysis of cultivated land expansion in farming-pastoral zone: Based upon the perspective of scale and income[J]. Journal of China Agricultural University, 2019, 24(3): 146-155.]

[31] 高清竹, 何立环, 江源, 等. 农牧交错带典型区农业与牧业用地互动关系研究[J]. 地理科学进展, 2002, 17(2): 209−214. [Gao Qingzhu, He Lihuan, Jiang yuan, et al. Study on interactive relationship between farmland and pastoral land in typical region of the farming-pastoral zone[J]. Advance in Earth Sciences, 2002, 17(2): 209−214.]

Analysis of the spatiotemporal conversion between ecological land and production land in the farming-pastoral ecotone and the forces driving it: A case study in the Bashang region of Zhangjiakou

QIN Yanjie[1,2], WU Aibin[1,2], ZHAO Yanxia[1,2], TANG Shoupu[3], LIU Xin[1,2], SHEN Huitao[1,2], ZHANG Shenghai[1,2]

(1. Institute of Geographical Sciences Hebei Academy of Sciences, Shijiazhuang 050011, Hebei, China;
2. Hebei Technology Innovation Center for Geographic Information Application, Shijiazhuang 050011, Hebei, China;
3. Land Consolidation and Rehabilitation Center of Hebei Province, Shijiazhuang 050011, Hebei, China)

Abstract: In farming-pastoral ecotone, coordinated development between ecological land and production land is of great significance. A land use transfer matrix was constructed in the Bashang region. We used the geographic concentration method and the geographic detector model to detect the spatiotemporal change, transformation characteristics, and its driving force between ecological land and production land. The results showed the following: (1) From 2000 to 2020, the ecological land area increased by 5.41%, although the trend appearedto decrease; meanwhile, the production land area decreased by 6.89%, although the trend appeared to increase. (2) The conversion between ecological land and production land occurred frequently. The area converted from production land to ecological land was 21.23×10^4 hm^2, and the conversion amount decreased. These conversions were mainly distributed in regions with rich natural conditions (abundant rainfall, low altitude, and gentle slope). The area converted from ecological land to production land was 12.47×10^4 hm^2, and the conversion amount increased. These conversions were mainly distributed in regions with poor natural conditions (low rainfall, high altitude, and steep slope). (3) In the single factors, soil organic matter, per capita cultivated land area, and slope arewere the main factors influencing the conversion from production land to ecological land. In the interaction factors, the interaction between soil organic matter and per capita cultivated land area was the most influential factor. The conversion from production land to ecological land usually occurred in the regions with low soil organic matter content, large per capita cultivated area, slope of 6°−15°, and annual average rainfall of <400 mm. Slope, annual average rainfall, and per capita cultivated land area were the main factors influencing the conversion from ecological land to production land. The interaction between slope and geomorphic agents was the most influential factor. The conversion from ecological land to production land usually occurred in the regions with a slope of 2°−6°, annual average rainfall of >400 mm, and small per capita cultivated land area. Attention should be drawn to the conversion between ecological land and productive land in the study area over the coming years.

Keywords: ecological land; production land; transformation; drive force; farming-pastoral ecotone; the Bashang region of Zhangjiakou